

УДК 550.832:553.94+551

## УТОЧНЕНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ МУТНОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАРОГИДРОТЕРМ ПО ДАННЫМ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СКВАЖИНАХ

*Павлова В.Ю. (5 курс)*

*Камчатский государственный университет им. В. Беринга*

*Научный руководитель: к.г.-м.н. Делемень И.Ф.*

Выполнена оцифровка диаграмм каротажа скважин по современным технологиям и комплексная интерпретация диаграмм гамма-каротажа (ГК), термокаротажа (ТК) и каротажа методом самопроизвольного поля (ПС). Для каждого метода разработаны соответствующие алгоритмы геофизической и геологической интерпретации диаграмм каротажа скважин. Проведена межскважинная корреляция диаграмм каротажа с выделением опорных горизонтов, четко отличающихся по физическим свойствам (радиоактивным, электрохимическим, теплопроводным) от окружающих пород. По выделенным профилям построены корреляционные разрезы. Используя данные геофизических исследований в скважинах (ГК, ТК, ПС) построены объемные модели участка Мутновского месторождения парогидротерм.

*Ключевые слова:* каротаж, интерпретация, корреляция, скважина, модель.

### **Введение**

Мутновское месторождение парогидротерм – одно из наиболее изученных на Камчатке геотермальных месторождений. Расположено в 70 км к юго-западу от г. Петропавловск-Камчатский в пределах Елизовского и Усть-Большерецкого районов Камчатского края. Площадь месторождения составляет в пределах доступной части 22 км<sup>2</sup>.

За период с 1978 по 1994 гг. здесь пробурено 92 скважины, но не во всех из них производился отбор шлама, а керн отбирался лишь в единичных скважинах. Из-за нехватки такой информации возрастает значение интерпретации данных геофизических исследований в скважинах (каротажа), которые позволяют с большой детальностью изучать разрез, вскрываемый скважиной, получать непрерывную информацию о составе и свойствах пород по вертикали, а также проследивать их изменение по латерали.

Цель работы - построение геолого-геофизической модели верхней части геотермального резервуара Дачного участка Мутновского месторождения парогидротерм. Выбраны скважины № 2, 5, 7, 10, 22 (рис.1), которые на данный момент являются ликвидированными.

Геологическое строение Мутновского месторождения парогидротерм определяется расположением его на северном фланге Мутновского вулкана и вблизи вулканической постройки Жировского вулкана и кальдеры вулкана Горелого. На его территории верхние горизонты разреза сложены главным образом экструзивными и пирокластическими породами от андезито-дацитового до липаритового состава средне- и верхне-плейстоценового возраста. На юге эти отложения перекрыты молодыми основными лавами и пирокластикой склонов вулкана Мутновского, на востоке и северо-востоке они прилегают к склонам древнего вулканического массива, сложенного нижнеплейстоценовыми лавами и туфами основного состава. В центральной части месторождения на поверхность выведен сложный фациально-изменчивый комплекс экструзивных, пирокластических и озерно-осадочных пород от базальтового до липаритового состава. По всей периферии они перекрыты маломощными спекшимися игнимбритами местных эруптивных центров (рис.1) [7].

### **Методика исследований**

Для геологического расчленения разреза скважин были подобраны диаграммы каротажа скважин [12]:

1. Гамма-каротаж (ГК), основан на измерении естественной гамма-активности горных пород.

2. Термокаротаж (ТК) – измерение температуры по стволу скважины (для решения поставленной цели использовались каротажные диаграммы термокаротажа в не выстоявшейся скважине, предшествующего ее обсадке).

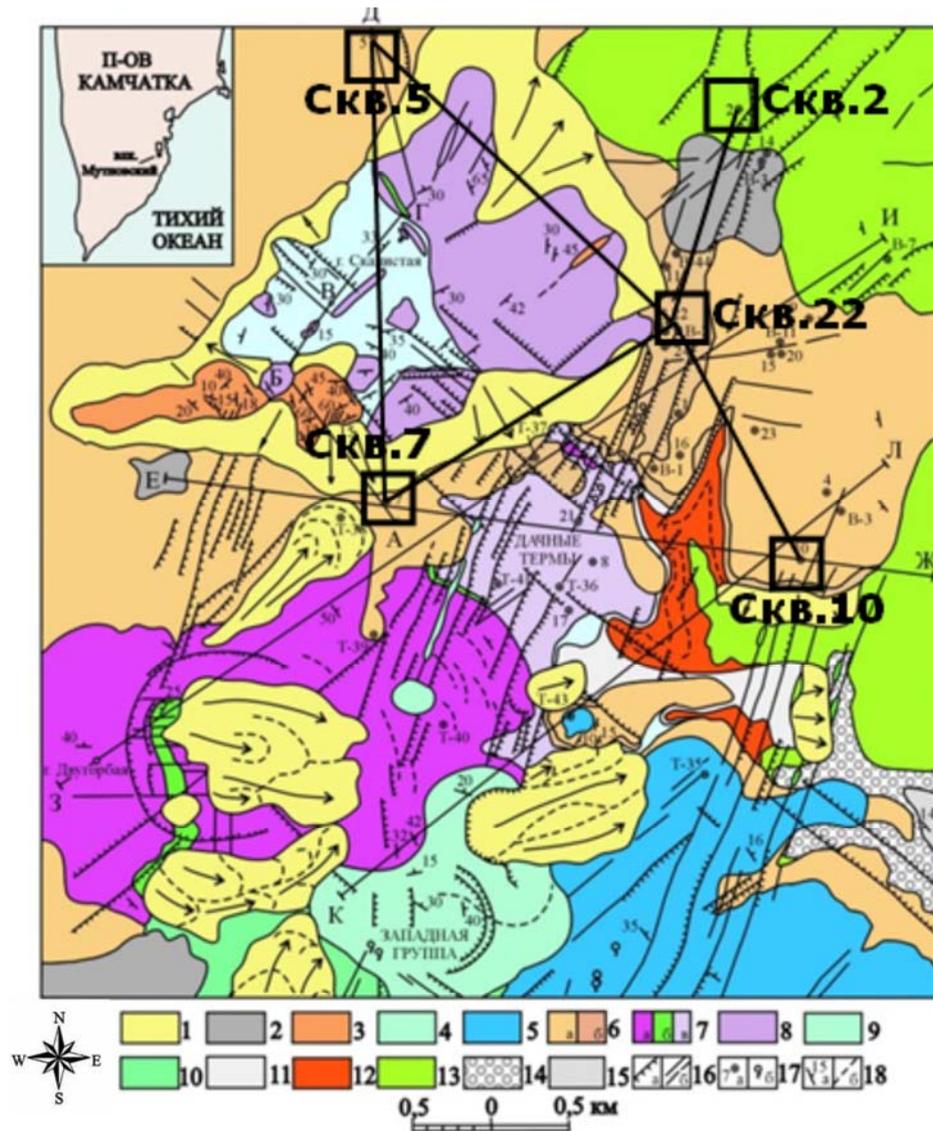


Рис.1. Схематическая геологическая карта района Мутновского месторождения парогидротерм (составлена с использованием материалов О.Н.Егорова, Е.Н.Гриб, Б.П.Чумака и данных буровых работ, автор В.Л. Леонов [7]).

**Условные обозначения:** 1 - обвально-осыпные отложения ( $Q_4$ ); 2 - пемзовые туфы перевалов ( $Q_4$ ); 3 - риолиты поздней фазы кислого вулканизма вулкана Скалистого ( $Q_3^4$ ); 4 - базальты Дайковой серии и вулкана Плоского ( $Q_3^{3-4}$ ); 5 - базальты, андезито-базальты, андезиты вулкана Мутновского ( $Q_3^{3-4}$ ); 6 - игнимбриты трещинных ареальных извержений и вулкана Горелого (второй фазы) (а) и пемзовые туфы района Дачных терм (б) ( $Q_3^{2-3}$ ); 7 - андезиты, дациты, риолиты (а), базальты (б), их туфы и туфобрекчии (в) вулкана Двугорбого ( $Q_{2-3}$ ); 8 - андезиты, дациты, риолиты ранней фазы кислого вулканизма вулкана Скалистого ( $Q_{2-3}$ ); 9 – базальты, андезито-базальты, их туфы и туфобрекчии вулкана Скалистого ( $Q_{2-3}$ ); 10 - базальты, их туфы и туфобрекчии вулкана Пальчик ( $Q_{2-3}$ ); 11 - промежуточный комплекс туфоконгломератов, туфов и туфобрекчий ( $Q_{2-3}$ ); 12 – игнимбриты вулкана Горелого (первая фаза) ( $Q_{2-3}$ ); 13 - базальты, андезито-базальты, андезиты, их туфы и туфобрекчии вулкана Жировского ( $Q_1$ ); 14 - туфы, спекшиеся туфы, туфобрекчии риолито-дацитового состава ( $N_1^3-N_2$ ); 15 - туфобрекчии, туфы, туфопесчаники, туфоалевролиты с прослоями лав базальтового состава ( $N_1^{1-2}$ ); 16 - разрывные нарушения с установленным вертикальным смещением (а), трещины (б); 17 - разведочные скважины (а), термопроявления (б); 18 - элементы залегания пород (а), маркирующие границы внутри стратиграфических подразделений (б). Черными линиями выделены профили для построения корреляционных разрезов

3. Каротаж методом самопроизвольного поля (ПС) сводится к измерению постоянных естественных потенциалов, возникающих у пластов с разной электрохимической активностью. Естественные потенциалы (потенциалы собственной поляризации) возникают при окислительно-восстановительных, диффузионно-адсорбционных и фильтрационных процессах, протекающих в различных горных породах.

При интерпретации диаграмм каротажа решались следующие задачи:

1. Геофизическая и геологическая интерпретация диаграмм ГК, ТК, ПС: оцифровка диаграмм каротажа скважин по современным технологиям [8]; разработка соответствующих алгоритмов геофизической и геологической интерпретации диаграмм каротажа скважин.
2. Комплексная интерпретация диаграмм ГК [9], ТК, ПС и их межскважинная корреляция.
3. Построение корреляционных разрезов.
4. Построение объемных моделей участка Мутновского месторождения парогидротерм.

*Интерпретация диаграмм ТК* сводится к следующему [1,4,10,11]:

1. Построение геотермограммы.

По изменению угла наклона кривой термограммы отмечаются границы пород, различающихся по тепловым свойствам.

2. Определение геотермического градиента  $\Gamma$ .

Характеризует интенсивность возрастания температуры с глубиной:

$$\Gamma = dT / dH,$$

где  $dT$  - разность температур:  $dT = T_2 - T_1$ , °С/м;

$dH$  – разность глубин:  $dH = H_2 - H_1$ , м.

3. Определение геотермической ступени  $G$ .

Характеризует расстояние в метрах, на котором температура возрастает на 1 °С:

$$G = 1/\Gamma$$

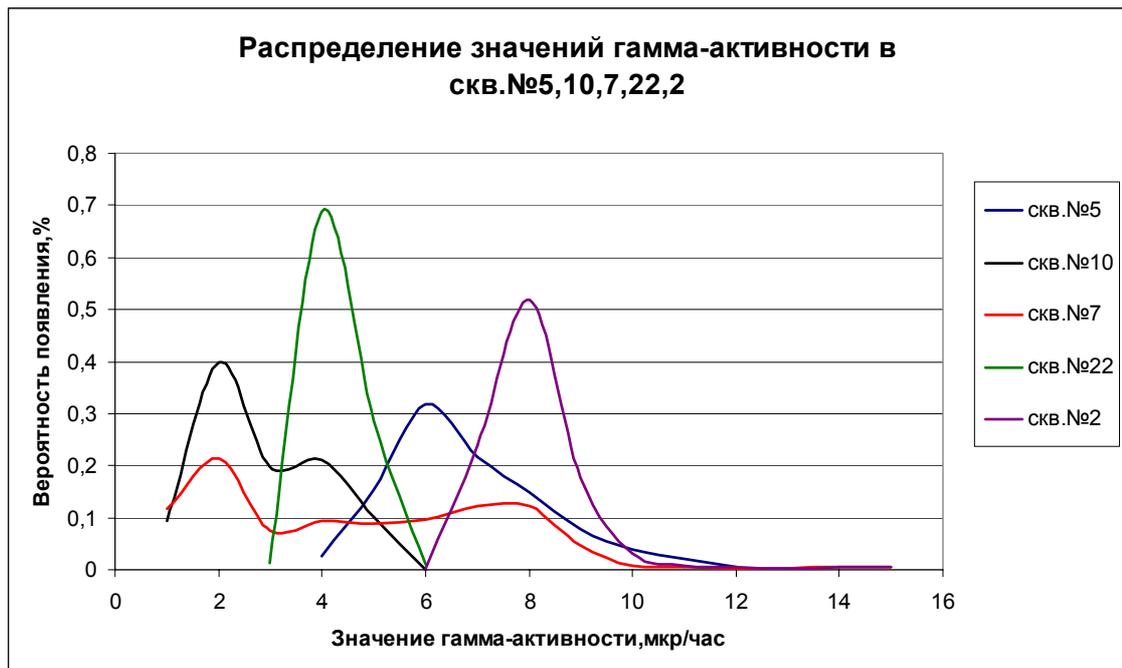


Рис.2. Графики плотности распределений значений гамма-активности

4. Геотермограмма разбивается на отдельные участки с близкими значениями градиентов температуры.
5. Расчленение разреза скважины по изменению угла наклона участков геотермограммы с привязкой данных керна и шлама [13].

*Интерпретация диаграмм ПС [1,4,10,11]:*

1. Определение “линии глин”.

Условная линия отсчета аномалий ПС (условно выбирают положение, соответствующее максимальному положительному отклонению).

2. Определение  $\Delta U_{ПС}$  (фактическая диаграмма).

Значения снимают непосредственно по величине аномалии ПС.

3. Определение статистического потенциала  $E_{да}$  (статистическая диаграмма).

Определение параметров пласта (количественная интерпретация) – предполагает приведение амплитуд  $\Delta U_{ПС}$  к условиям пласта бесконечной мощности, т.е. к значению  $E_{да}$  ( $E_s$ ) против рассматриваемого пласта. Для этого используют формулу:

$$E_s = \Delta U_{ПС} / v,$$

где  $\nu$  – поправочный коэффициент,  $\nu = f(h, \rho_{\text{п}}, \rho_{\text{вм}}, \rho_{\text{зп}}, \rho_{\text{с}}, d_{\text{с}}, D)$ .

При  $h > 5 d_{\text{с}}$  поправка обычно не требуется ( $\nu = 1$ ).

4. Определение параметра  $\alpha_{\text{ПС}}$  – содержание глинистого материала в породе по относительной амплитуде ПС.

Отражает свойства пласта и вмещающих глин, называют также коэффициентом снижения амплитуды ПС:

$$\alpha_{\text{ПС}} = \Delta U_{\text{ПС}} / E_{\text{s}}$$

Первоочередной этап в эффективном изучении строения территории по данным геофизических исследований скважин (ГИС) – это сопоставление диаграмм ГК (корреляция разрезов скважин). Корреляция заключается в выделении характерных горизонтов (пластов) и в определении глубины их залегания в различных скважинах. Основой для корреляции разрезов является керновый материал, анализы шлама и промывочной жидкости. В качестве дополнительных данных привлекаются данные геофизических исследований скважин (ГИС), которые становятся основными в случае малого выхода керна или при его отсутствии. Корреляция разрезов скважин по данным каротажа начинается с выделения опорных горизонтов (реперов), прослеживаемых на каротажных диаграммах всех или большинства скважин на данной территории. В качестве каротажных реперов чаще всего используют пласты, отличающиеся устойчивыми признаками на диаграммах. Корреляция разрезов по каротажным данным обязательно увязывается с геологическими данными и контролируется ими, в частности данными по литологии и возрасту горных пород [10].

Используя данные геофизических исследований в скважинах (ГК, ТК, ПС) построены объемные модели участка Мутновского месторождения парогидротерм с помощью стандартных методов компьютерной визуализации графиков, что позволило проследить изменение физических показателей (гамма-активность, естественный потенциал собственной поляризации, температура) с глубиной.

## Результаты исследований и их обсуждение

Создание оптимизированного метода оцифровки диаграмм выполнено на примере конкретных геофизических исследований в скважинах, что является основой для дальнейшей обработки каротажных диаграмм с помощью современных компьютерных средств. На данном этапе исследований геологическая и геофизическая интерпретация диаграмм ГК позволяет сделать вывод о том, что при переходе от пород кислого состава (дациты) к породам среднего (андезиты) и основного состава (базальты) радиоактивность уменьшается. При этом одни из горизонтов изменения гамма-активности соответствуют слоям горных пород, а другие – горизонтам наложенных изменений. Градиентные зоны на графиках ГК соответствуют границам слоёв с контрастными значениями гамма-активности.

По полученным данным построены графики плотности распределений значений гамма-активности (рис.2), показывающие наличие одной или двух – трех мод в распределении гамма-активности по каждой из скважин. За исключением скважины 5 (расположенной на окраине Дачного участка и характеризующей разрез кальдеры вулкана Горелого, а не самого участка), модальные значения в целом совпадают. Это даёт основание выполнять сопоставление графиков гамма-каротажа между скважинами. Для графиков характерны следующие ярко выраженные виды распределений: нормальное, бимодальное, логнормальное и ассиметричное. В направлении с юга на север, при переходе от скважин № 10,7,22 (расположенным в центральной части) к скважинам № 5,2 (на периферии участка) происходит увеличение значений гамма-активности, что обусловлено наличием горных пород с повышенными радиоактивными свойствами. Для всех скважин отмечается незначительное увеличение радиоактивности, с глубиной, однако наиболее интенсивные положительные аномалии гамма-активности наблюдаются на глубинах 400-500 м на участках расположения скважин № 7 и № 10 (рис.3).

Геологическая и геофизическая интерпретация диаграмм ТК выполнялась только с точки зрения анализа температур в не обсаженных и не выстоявшихся скважинах для выявления возможных проницаемых зон (притока холодных и термальных вод). При этом пространственное распределение температур не анализировалось, т.к. для рассматриваемого месторождения имеются многочисленные публикации о трехмерном строении температурного поля [6]. Особое внимание уделялось расчетам геотермического градиента, т.к. именно такой подход позволяет более уверенно выделять зоны изменения фазового состояния теплоносителя, приуроченные к проницаемым зонам, а также сами зоны циркуляции в них теплоносителя, представленного водой или пароводяной смесью (рис.3).

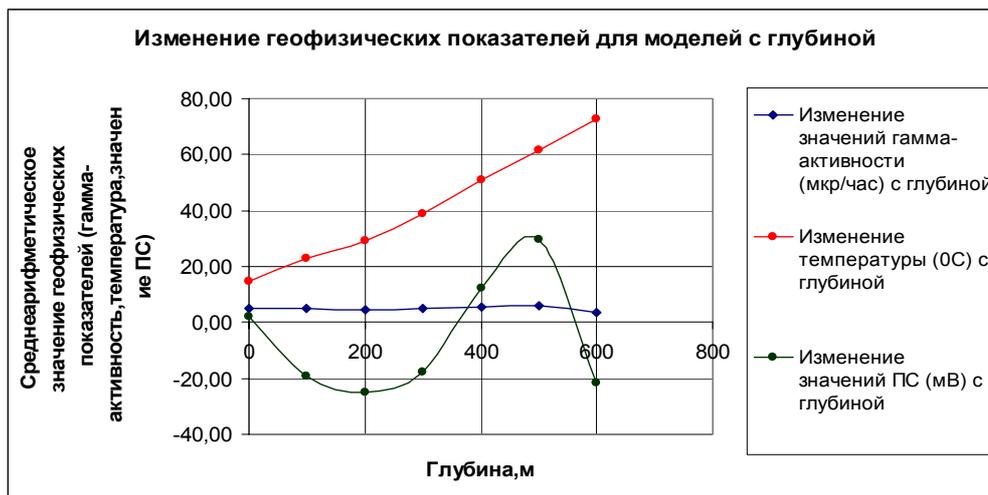


Рис.3. Графики изменений геофизических показателей для моделей с глубиной

Построение фактических и статистических диаграмм  $\Delta U_{\text{ПС}}$  при анализе диаграмм ПС позволило установить, что при переходе от пород кислого состава (дациты) к породам среднего состава (андезиты) и основного состава (базальты) значения ПС увеличиваются, при этом в направлении с востока на запад и с юга на север, при переходе от скважин № 10, 7 к скважине № 5 происходит увеличение значений ПС (от -20, 20 к -100, 100 мВ). На глубинах от 0 до 350 м наблюдаются отрицательные значения ПС (до -25 мВ), что возможно обусловлено течением жидкости в пласт, вы-

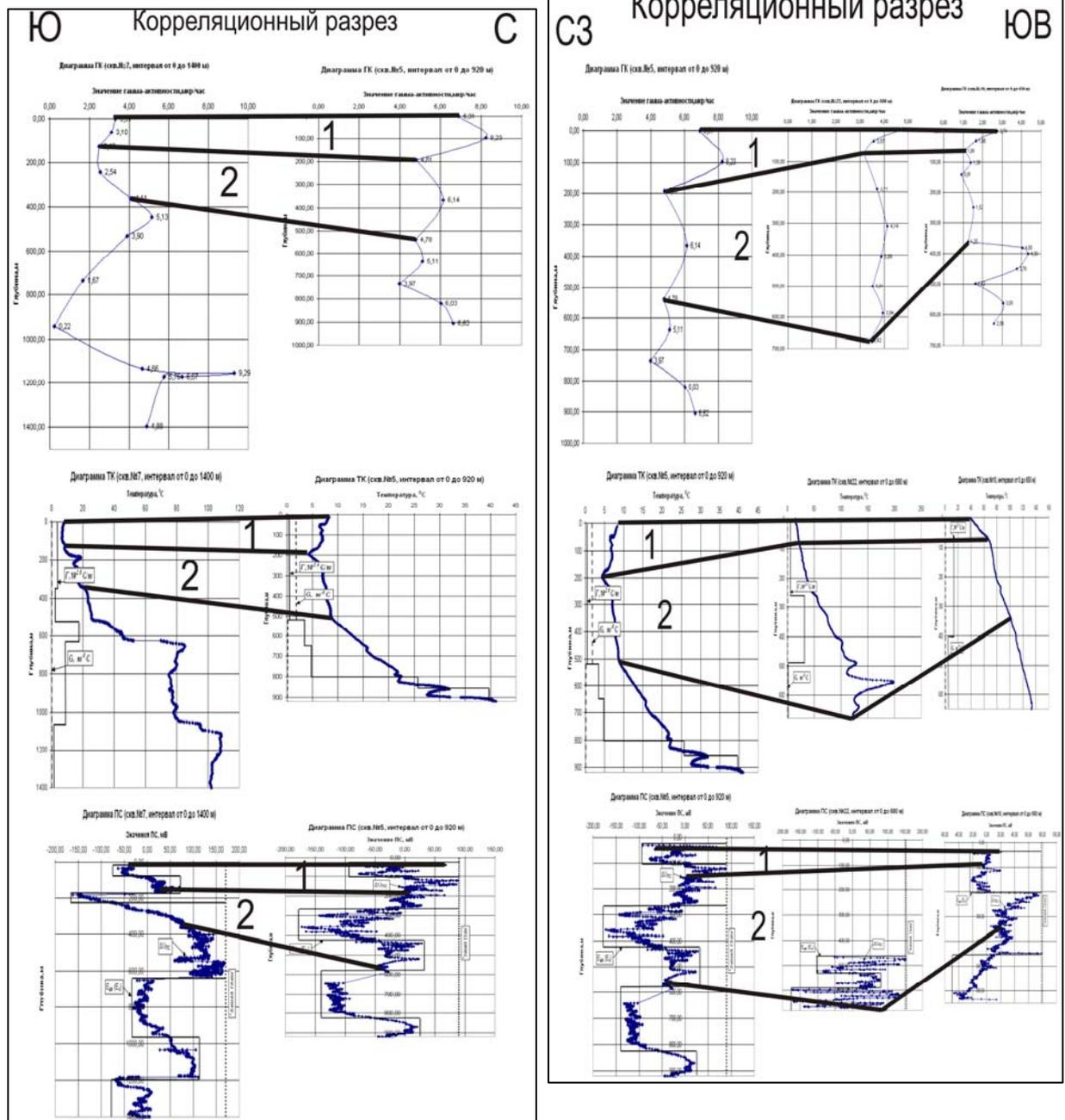


Рис.4. Корреляционные разрезы в направлении с юга на север и северо-запада на юго-восток (диаграммы ГК, ТК, ПС). Черными линиями выделены кровля и подошвы пластов горных пород. 1 -  $Q_2$  – туфы дацитов с прослоями лав, игнимбритоподобные; 2 -  $Na_2$  – лавы и туфы андезитов-базальтов, базальтов, андезитов, с туфами того же или смешанного состава

деляются участки поглощения жидкости; на глубинах от 350 до 600 м наблюдаются положительные значения ПС (до +30 мВ), что возможно обусловлено притоком жидкости (рис.3).

Совместный анализ трех типов каротажных диаграмм позволил построить для месторождения корреляционные разрезы физических полей,

характеризующих состав пород, слагающих геотермальный резервуар (рис.1). В итоге выделены и прослежены слои и горизонты горных пород, позволяющие оценить общие особенности строения месторождения.

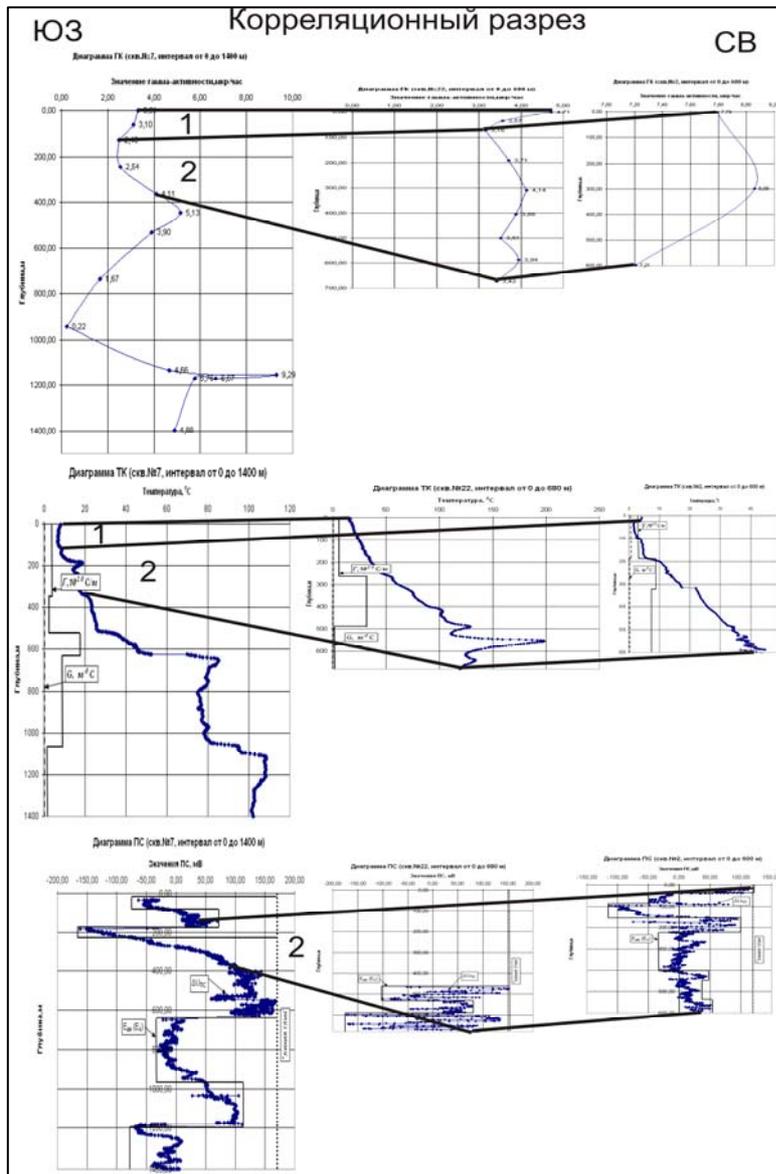


Рис.5. Корреляционный разрез в направлении с юго-запада на северо-восток (диаграммы ГК, ТК, РС). Черными линиями выделены кровля и подошвы пластов горных пород. 1 - Q<sub>2</sub> – туфы дацитов с прослоями лав, игнимбритоподобные; 2 - Nal<sub>2</sub> – лавы и туфы андезитов-базальтов, базальтов, андезитов, с туфами того же или смешанного состава

В целом в верхней части месторождения, охваченной каротажными исследованиями, выделяются два четко различающихся на корреляционных графиках комплекса пород (рис.4,5).

Приповерхностная часть резервуара сложена плейстоценовыми игнимбритами и игнимбритоподобными туфами дацитов с прослоями лав. Эти породы выпадают лишь в разрезе скважины № 2, расположенной в северной периферии участка. В остальных скважинах средняя мощность отложений 100 м, увеличивается от скважины № 10 к скважине № 5 в направлении с востока на северо-запад. С нашей точки зрения, это подтверждает имеющиеся представления о приуроченности Дачных терм к субмеридиональному грабену; однако не исключено, что ширина грабена превышает границы, которые даны в имеющихся работах [7,12].

Собственно геотермальный резервуар сложен на рассматриваемой территории (и в пределах изученной части разреза) верхнеплиоценовыми лавами и туфами андезито-базальтов, базальтов, андезитов, с туфами того же или смешанного состава. Увеличение мощности происходит в направлении от скважины № 7 к скважинам № 22 и 2 в направлении с юго-запада на северо-восток. На наш взгляд, эта тенденция отражает нахождение на северо-востоке погруженной части крупной депрессии, в которой происходило накопление в позднем плиоцене вулканитов, источники которых располагались по её обрамлению (рис.4,5).

### **Заключение**

Прослежено изменение физических показателей (гамма-активность, естественный потенциал собственной поляризации, температура) для горных пород с глубиной. Методы каротажа скважин позволяют установить положение геологических границ и слоев Мутновского месторождения.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Бабадаглы В.А., Изотова Т.С., Карпенко И.В. и др. Литологическая интерпретация геофизических материалов при поисках нефти и газа. М.: Недра, 1988. 256 с.
2. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятности. М.: Наука, 1969. 368 с.
3. Девис Дж. Статистика и анализ геологических данных. М.: Мир, 1977. 572 с.
4. Дмитриев В.И. Вычислительная математика и техника в разведочной геофизике // Справочник геофизика. М.: Недра, 1990. 498 с.

5. Дьяконов Д.И., Леонтьев Е.И., Кузнецов Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1984. 432 с.
6. Кирюхин А.В., Гусев Д.Н., Делемень И.Ф. Высокотемпературные гидротермальные резервуары. М., 1991. 160 с.
7. Леонов В.Л. Структурные условия локализации высокотемпературных гидротерм. М., 1989. (монография на e-mail: [lvl@kscnet.ru](mailto:lvl@kscnet.ru))
8. Павлова В.Ю. Компьютерная оцифровка диаграмм гамма-каротажа скважин, пробуренных на Дачном участке Мутновского геотермального месторождения (Камчатка) // Исследования в области наук о Земле // Материалы VI региональной молодежной научной конференции "Исследования в области наук о Земле". 26-27 ноября 2008 г. П-К: КамГУ им. В.Беринга, 2008. С. 57 - 65.
9. Павлова В.Ю. Интерпретация диаграмм гамма-каротажа скважин Дачного участка Мутновского месторождения парогидротерм // Исследования в области наук о Земле // Материалы VII региональной молодежной научной конференции «Исследования в области наук о Земле». 25 ноября 2009 г. П-К: КамГУ им. В. Беринга. 2009. С. 67-78.
10. Селиверстов Н.И. Геофизические методы исследования скважин // Учебное пособие для геологических специальностей вузов. П-К, 2004. 93 с.
11. Сохранов Н.Н., Аксельрод С.М., Зунделевич С.М. и др. Обработка и интерпретация данных промысловых геофизических исследований на ЭВМ // Справочник. М.: Недра, 1989. 240 с.

Фондовая:

12. Блукке П.П., Асаулова Н.П., Остапенко С.В. Отчет о результатах предварительной разведки на участке Дачном Мутновского месторождения парогидротерм с подсчетом запасов теплоносителя для обоснования проекта строительства первой очереди геотермальной электростанции мощностью 50 МВт. ПГО "Сахалин-геология". 8 книг. 1987. Приложение № 37,40, 42, 45, 57.
13. Сугробов В.М., Набоко С.И., Словцов И.Б. и др. Отчет по теме: Минералогическое описание скважин Мутновского месторождения парогидротерм. П-К. 1988. 257 с.

ELABORATION OF GEOLOGICAL STRUCTURE OF THE MUTNOVSKY  
GEOTHERMAL DEPOSIT ON DATA OF INTERPRETATION GEOPHYSICAL  
RESEARCHES IN BOREHOLES

*Pavlova V. Yu.*

*Kamchatka Vitus Bering State University*

The author is completed numbering ray logging diagram on modern technologies and complexly interpretation of diagram gamma-ray logging, thermo-ray logging and ray logging by a method of spontaneous field. For each method the algorithms of geophysical and geological interpretation of ray logging diagram are developed. Correlation of ray logging diagram with allocation the basic horizons distinguished on physical properties (radioactive, electrochemical, ability to carry out heat) from environmental rocks is carried. On the allocated structures correlation cuts are constructed. Using the data of geophysical researches in boreholes are constructed volumetric models of the place of the Mutnovsky geothermal deposit.

*Key words:* ray logging, interpretation, correlation, borehole, model.